

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до виконання розрахунково-графічної роботи  
на тему

**«РОЗРАХУНОК АПАРАТУ ОЧИСТКИ ГАЗІВ**  
**НА ПРИКЛАДІ ЦИКЛОНУ ЦН-15»**  
з дисципліни  
**«ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання  
напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування, спеціальностей 101 – Екологія та  
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2017**

Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи на тему «Розрахунок апарату очистки газів на прикладі циклону ЦН-15» з дисципліни «Прикладна аероекологія» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування, спеціальностей 101 – Екологія та 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 12 с.

Укладачі: В. Є. Бекетов,  
Г. П. Євтухова

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ф. В. Стольберг

*Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол №1  
від 29.08. 2017 р.*

## ЗМІСТ

1	Загальні положення.....	4
2	Склад розрахунково-графічної роботи.....	4
3	Завдання до розрахункової частини РГР.....	6
3.1	Зразок виконання розрахункової частини.....	6
3.1.1	Розрахунок втрат тиску і визначення ефективності роботи циклону .....	6
3.1.2	Розрахунок викиду пилу за годину.....	9
3.1.3	Розрахунок конструктивних параметрів циклону.....	9
	Список рекомендованої літератури .....	10
	Додаток А.....	11

## **1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Значний внесок у забруднення атмосферного повітря міст вносять викиди від стаціонарних джерел промислових підприємств.

Одним з заходів захисту атмосферного повітря від викидів забруднюючих речовин є використання технічних засобів очищення викидів.

Мета розрахунково-графічної роботи – засвоїти методи розрахунку ефективності роботи апаратів очищення викидів від пилу на прикладі циклону ЦН-15.

При виконанні розрахунково-графічної роботи студент окрім цих методичних вказівок повинен використовувати матеріали, наведені у переліку літератури.

## **2 СКЛАД РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

Розрахунково-графічна робота складається з двох частин: теоретичної та розрахункової. Обсяг контрольної роботи – 15–20 сторінок.

*Теоретична частина* містить опис технічних засобів очищення викидів від пилу (устрій, принцип дії, основи розрахунку апаратів сухого очищення газів), таких як: циклони (прямоточні, батарейні та зворотьнопоточні);

*Розрахункова частина* складається з:

- розрахунку визначення ефективності роботи циклону на прикладі циклону ЦН-15;
- розрахунку викиду пилу за годину та конструктивних параметрів циклону.

Пояснювальна записка має таку структуру:

1. Титульний аркуш
2. Зміст
3. Вихідні данні до роботи
4. Вступ

5. Теоретична частина
6. Розрахункова частина
7. Висновки
8. Список використаних джерел.

### 3 ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ РГР

Для виконання розрахункової частини РГР необхідні вихідні данні, які визначаються в залежності від номера варіанта. Номер варіанта визначається за номером студента по списку групи.

Розрахувати апарат сухого інерційного очищення на прикладі циклона ЦН-15.

Вихідні дані для розрахунку (наведено у табл. 1):

- Об'ємні витрати газів  $Q_{\text{г}}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- Динамічна в'язкість газів  $\mu_{\text{г}}$ ,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;
- Щільність газу  $\rho_{\text{г}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- Дисперсний склад пилу, що задається двома параметрами  $d_{\text{м}}$ ,  $\mu\text{м}$  и  $\lg\sigma_{\text{ч}}$ ;
- Запиленість газів на вході в апарат  $C_{\text{вх}}$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;
- Щільність часток пилу  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;
- Ефективність очищення яка потрібна, складає 85%.

Визначити:

1. Втрати тиску в циклоні.
2. Ступінь очищення циклону ЦН-15.
3. Викид пилу за годину роботи.
4. Основні конструктивні параметри апарату.
5. Надати схему циклона за розрахунковими параметрами у масштабі (формат А 4).

### 3.1 ЗРАЗОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1.1 Розрахунок втрат тиску і визначення ефективності роботи циклону

Розрахунок ведеться в такій послідовності:

Задавшись типом циклона, по таблицям з довідкової літератури визначають оптимальну швидкість газу в апараті. Для більшості циклонів  $W_{\text{опт}}=2\div4,5$  м/с. Для ЦН-15 -  $W_{\text{опт}}=3,5$  м/с.

Визначають площу перетини (перерізу) циклона:

$$F = \frac{Q_{\Gamma}}{W_{\text{опт}}}$$

Визначають діаметр циліндричної частини циклона:

$$D^* = \sqrt{\frac{F}{0,785}}$$

Діаметр циклона округляють до значення, яке рекомендовано стандартним рядом діаметрів:  $D=200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000$  мм;

Визначають дійсну швидкість газу в циклоні. Ця швидкість не повинна відхилятися від оптимальної більш ніж на 15 %:

$$W_{\text{д}} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2}$$

Визначають коефіцієнт гідравличного опору:

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{500} + K_3,$$

де  $\zeta_{500}$  – коефіцієнт гідравличного опору одиночного циклона діаметром 500 мм; для ЦН-15  $\zeta_{500} = 155$ ;

$K_1$  – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона;

$K_2$  – поправочний коефіцієнт на запиленість газу;

$K_3$  – поправочний коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску, які пов'язані з компоновкою циклонів в групу :  $K_3 = 0$  – для одиночного циклона;  $K_3 = 35$  – для групової компоновки.

$\zeta_{500}$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  визначають з таблиць довідкової літератури (табл. 1,2 [1])

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта  $K_1$ 

Д, мм	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2 – Поправочний коефіцієнт  $K_2$  на запиленість газів

Марка циклона	Запиленість, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,95	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,85
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,88
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Визначають втрати тиску в циклоні за формулою:

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho W_{\phi}^2}{2}$$

Із справочних таблиць визначають  $d_{50}$  и  $lg\sigma_{\eta}$  (діаметр часток пилу, які осаджуються з ефективністю 50% й стандартне відхилення в функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення) для стандартних умов (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри циклона за стандартних умов

Параметри	ЦН-15
$d_{50cy}$	4,5
$lg\sigma_{\eta cy}$	0,352
$W_{opt. \text{ с.у.}}$	3,5 м/с
$D_{cy}$	0,6 м
$\rho_{cy}$	1930 кг/м <sup>3</sup>
$\mu_{cy}$	$22,2 \times 10^{-6}$ Па·с

Визначають  $d_{50}$  при робочих параметрах:

$$d_{50} = d_{50cy} \sqrt{\left(\frac{D}{D_{cy}}\right) \left(\frac{\rho_{cy}}{\rho}\right) \left(\frac{\mu_c}{\mu_{cy}}\right) \left(\frac{W_{cy}}{W\partial}\right)}$$

Визначають параметр X:

$$x = \frac{\lg(d_m / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\eta}}}$$

Визначають  $\Phi(x)$  по таблиці 3 та розраховують ступень очищення  $\eta$  за формулою

$$\eta_p = \frac{1}{2}[\Phi(x) + 1]$$

Таблиця 4 – Значення нормальної функції розподілу

X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$
1	2	3	4
0,6	0,7257	1,14	0,8729
0,84	0,7995	1,18	0,8810
0,86	0,8051	1,20	0,8849
0,88	0,8106	1,22	0,8888
0,90	0,8159	1,24	0,8925



Продовження таблиці 4

1	2	3	4
0,92	0,8212	1,26	0,8997
0,98	0,8365	1,28	0,8962
1,0	0,8413	1,36	0,9131
1,02	0,8461	1,40	0,9192
1,04	0,8508	1,46	0,9279
1,06	0,8554	1,58	0,9429
1,08	0,8590	1,60	0,9452
1,10	0,8643	1,62	0,9474
1,12	0,8686	1,64	0,9495

Після закінчення розрахунку значення  $\eta_p$  сопоставляють зі значенням  $\eta_t$ , яке потрібно. Якщо  $\eta_p < \eta_t$ , то необхідно вибрати другий тип циклона з більшим коефіцієнтом гідравлічного опору.

### 3.1.2 Розрахунок викиду пилу за годину

Викид пилу за годину роботи розраховують, якщо є об'ємна витрата (Q) та концентрація пилу на виході з циклону (C).

### 3.1.3 Розрахунок конструктивних параметрів циклона

Основні конструктивні співвідношення циклонів залежать від типу обраного апарата. Для циклона типа ЦН-15 рекомендуються такі співвідношення:

- внутрішній діаметр вихлопної труби  $d = 0,59D$ , ( $D$  – внутрішній діаметр корпусу циклона);
- діаметр пиловипускного витвора  $d_1 = 0,3 \div 0,4D$ ;
- ширина вхідного патрубку  $b = 0,2D$ ;
- висота вхідного патрубку  $a = 0,66D$ ;
- угол наклону кришки  $\alpha = 15^\circ$ ;
- висота циліндричної частини  $H = 2,26D$ ;
- висота конуса  $H_k = 2D$ ;
- угол наклону стінок бункера  $\beta = 55 \div 60^\circ$ ;
- діаметр бункера  $D_6 = 1,5D$ ;
- висота бункера  $H_6 = 0,8D$ .

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др. Под общ. ред. А. А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
2. Экология города : учебник / Под ред. Ф. В. Стольберга. – Київ : Либра, 2000. – 464 с.
3. Конспект лекций по разделу «Аппараты сухой очистки газов» дисциплины «Прикладная аэроэкология» (для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения специальности «Экология и охрана окружающей среды») / В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова, Ю. Л. Коваленко. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. – 64 с.

## Додаток А

### Варіанти завдань:

Номер варіанта	Об'ємна витрата газів $Q_r$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Динаміч- на в'язкість газів $\mu_r$ , $\times$ $10^{-6}\text{Па}\cdot\text{с}$	Щільність газу $\rho_r$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Дисперсний склад пилу, що задається двома параметрами		Запиленість газів на вході в апарат $C_{\text{вх}}$ , $\text{г}/\text{м}^3$	Щільність часток пилу $\rho_{\text{ч}}$ , $\text{кг}/\text{м}^3$
				$d_m$ , мкм	$\lg \sigma_{\text{ч}}$		
1	10000	22	1,3	40	0,5	20	800
2	5000	22	1,2	35	0,6	10	1900
3	10300	22,8	1,2	40	0,6	28	1100
4	11000	23	1,5	38	0,55	22	1650
5	7000	22,5	1,15	45	0,6	14	900
6	7500	22	1,2	35	0,7	18	1400
7	8000	24	1,4	40	0,45	13	1850
8	8500	22	1,3	30	0,45	18	1600
9	9000	22	1,5	34	0,4	24	1400
10	8000	24	1,2	45	0,55	20	1850
11	9500	23,5	1,6	44	0,6	25	1800
12	9200	24	1,6	40	0,55	18	1700
13	8000	17,3	1,2	35	0,45	25	900
14	9000	21,5	1,4	52	0,5	32	850
15	6000	18,5	1,7	46	1,5	23	1500
16	9500	22	1,1	26	0,6	24	1400
17	11000	22	1,4	55	0,6	23	1660
18	10200	21,8	1,1	42	0,6	19	1200
19	9000	19,5	1,3	27	0,55	40	1300
20	11000	21	1,4	42	0,45	34	1250
21	9500	23	1,1	35	0,4	24	900
22	8500	19	1,6	42	0,5	19	900
23	1000	17,5	1,4	45	0,5	28	1100
24	9000	22	1,2	26	0,5	34	1200
25	11200	22	1,4	52	0,4	32	1100
26	10500	19,4	1,2	34	0,5	19	1600
27	11200	21,3	1,6	44	0,45	28	1800
28	9000	22	1,6	36	0,5	42	1500
29	9000	25	1,2	35	0,45	35	900
30	11000	19	1,1	46	0,5	40	1100

*Виробничо-практичне видання*

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до виконання розрахунково-графічної роботи  
на тему

«РОЗРАХУНОК АПАРАТУ ОЧИСТКИ ГАЗІВ  
НА ПРИКЛАДІ ЦИКЛОНУ ЦН-15»  
з дисципліни

**«ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ»**

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання  
напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування, спеціальностей 101 – Екологія та  
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Укладачі : **БЕКЕТОВ** Володимир Єгорович,  
**ЄВТУХОВА** Галина Петрівна

Відповідальний за випуск *Я. О. Герасименко*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 90 М

---

Підп. до друку 03.031.11. Формат 60x84/16  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,8  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. маршала Бажанова, 17, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.